

손목 착용형 활동 측정기에서 활동 강도와 지속 시간을 고려한 수면 상태 검출 방법

최선탉*, 조위덕*

*아주대학교 전자공학과

e-mail:suntaag62@gmail.com

Detection Method of Sleep State with Intensity and Duration using Wrist-Worn Activity Tracker

Sun-Taag Choe*, We-Duke Cho*

*Electrical and Computer Engineering in Ajou University

요 약

본 연구는 손목 착용형 활동 측정기로부터 수집된 활동 강도 값을 기반으로 사용자의 수면 상태를 파악하는 방법을 제시한다. 수집된 활동 강도 값은 하루 전체에서 1분 단위로 손목의 움직임의 크기에 따라 측정되는 값으로 수면과 활동 시 그 값의 차이를 나타낸다. 본 연구는 활동 강도에 따라 수면 상태를 검출하고 검출된 수면 상태의 지속시간에 기반을 두어 수면 상태를 보정한다. 3명의 사용자로부터 하루씩 수집된 활동 강도 값에서 검출된 수면 시간은 실제 수면 시간에 대비하여 약 99.35%의 정확도를 갖는다.

1. 서론

현재 임베디드 분야에서 하드웨어 장치의 소형화 기술, 무선 통신 기술, 저전력 기술의 발전에 따라 작은 크기의 손목 착용형 활동 측정기(Wrist-Worn Activity Tracker)가 등장하였다. 손목의 움직임을 가속도 센서로 측정하여 움직임의 정도를 파악하고 움직임의 추세에 기반을 두고 칼로리 소모량을 측정하거나, 걷기와 달리기 행동 및 수면 상태를 검출하여 하루 동안 사용자의 일상생활을 요약하여 피드백해주는 서비스 등이 함께 등장하고 있다. 우리나라의 삼성사의 Galaxy Gear[1], 중국 Xiaomi사의 Mi-band[2], 미국 Fitbit사의 Flex[3]가 대표적인 손목 착용형 활동 측정기 개발 업체이다.

이러한 웨어러블 디바이스는 이메일, 문자, 메신저 기능 등 스마트폰의 일부 기능을 확장하기 위한 용도로도 사용되지만 일반적으로는 사용자의 운동이나 수면 등의 활동 상태들을 추적하고 이를 관리하기 위한 웰니스(Wellness) 관점에서의 건강관리 목적으로 사용된다. 걷기 운동, 조깅, 자전거, 등산 등 비교적 시간을 들여야 하는 유산소 운동 추적 기능들이 포함되어 있으며 무의식중에 이뤄지는 수면의 상태를 검출하고 분석하는 기능도 존재한다. 이 중 사용자의 주관적인 느낌이나 기억에 의존하는 수면 추적 기능은 사용자들이 가장 신뢰하지 못하고 있다[4,5].

이유는 현재 상용화된 활동 측정기에 탑재되어 있는 수면 추적 기술들은 일반적인 수면 패턴을 가진 사용자에게 맞춰져 있기 때문이다. 이러한 수면 추적 기술은 보통 저녁 9시에서 다음날 아침 7시 사이에 반드시 수면이 시작하

다고 가정하여 수면 상태를 검출하기 때문에 교대근무자가 오전 7시 이후에 잠자리에 드는 경우나 낮잠 등 일반적인 지 않은 양상을 가진 수면 상태를 검출할 수 없다는 문제가 발생한다. 게다가 밤 시간에 활동 중 잠시 동안 낮은 강도의 활동 상태가 검출되면 수면의 시작 시각을 낮은 강도의 활동 상태의 시작 시각으로 검출하여 수면 시간을 과다하게 측정할 수도 있다.

그럼에도 불구하고 이미 개발되어 있는 하드웨어 자원을 재활용하고 보다 정확한 생활 패턴 측정과 웨어러블 디바이스에서 수집되는 다양한 라이프로그 기반의 상황인지 기술이 연구되고 있다[6].

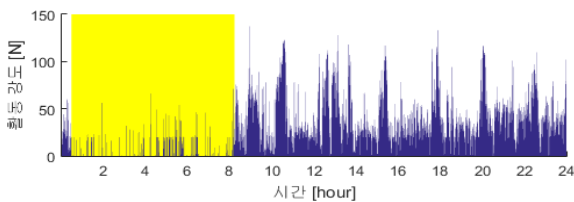
본 연구는 손목 착용형 활동 측정기에서 수면 검출을 절대적인 시각을 기준으로 검출하여 생기는 문제를 해결하고자 본 연구에서는 절대적인 시각에 의존하지 않으며 종래의 활동 강도 값을 기준으로 수면 상태를 검출하는 방법에 수면의 지속 시간을 고려하여 이를 보정할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 손목 착용형 활동 측정기 데이터 수집

현재 상용화된 손목 착용형 활동 측정기들은 대부분 활동 추적의 결과로써의 하루 총 걸음 수, 칼로리 소모량, 수면 시간 등을 개방형 API로만 공개한다. 또한, 활동 추적기 하드웨어 자체에 대한 접근은 허용하지 않고 있다. 그 중 중국 Xiaomi사의 Mi-band는 하드웨어 자체의 Bluetooth 통신 프로토콜[7]을 개방하여 웨어러블 디바이스에서 활동 값을 직접 추출할 수 있다. 이는 가공된 형태이

며 분 단위의 걸음 수와 활동 강도 값을 전송한다. 본 연구에서는 이 개방된 프로토콜을 이용한 공개 프로젝트 중 하나인 GadgetBridge[8]를 사용하였다.

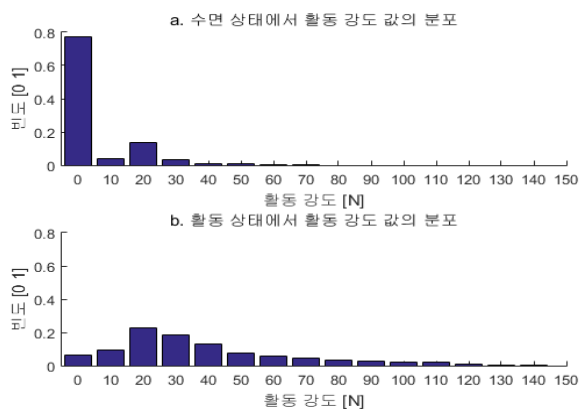
본 연구에서 제안하는 알고리즘을 비교평가하기 위해 3명의 사용자에게 2개의 장치를 착용하게 하였다. 하나의 장치는 XiaoMi社에서 제공하는 서비스에서 산출되는 수면 시간을 실험 대조군으로 수집하기 위함이며 다른 하나의 장치는 공개프로젝트로 개발된 서비스를 이용하여 활동 강도 값을 추출하고 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용한 실험 비교군을 위해 사용된다. 이 과정에서 두 장치 모두에서 활동 강도 값을 산출 할 수 없으므로 두 장치에서 측정되는 활동 강도 값은 서로 같다는 가정 하에 알고리즘을 설계하였다.



(그림 1) 손목 착용형 활동 측정기로부터 수집된 활동 강도

측정된 활동 강도 값은 분 단위이며 0에서 약 255사이의 정수 값이다. 1분 동안 손목의 움직임이 없을 경우 0이며 책상 업무와 같은 낮은 강도의 활동은 약 20에서 50 사이의 값을 가지며, 걷기 시에는 약 80에서 100 사이, 격한 움직임 시 약 150정도의 강도 값을 갖는다. 그림 1은 수집된 활동 강도 값을 표현한 그래프이며 대조군으로 수집된 수면 시간은 0시 29분부터 8시 6분까지 이다. 그래프를 살펴보면 수면 중에는 활동 상태와 그 활동 강도가 확연히 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

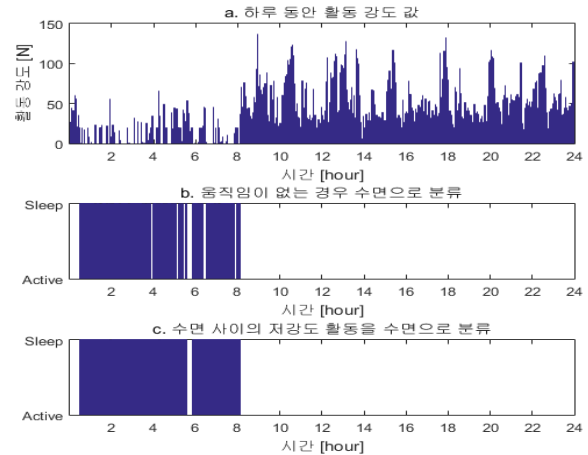
3. 활동 강도 기반 수면 상태 분류



(그림 2) 수면과 활동 상태에서 활동 강도 값의 분포

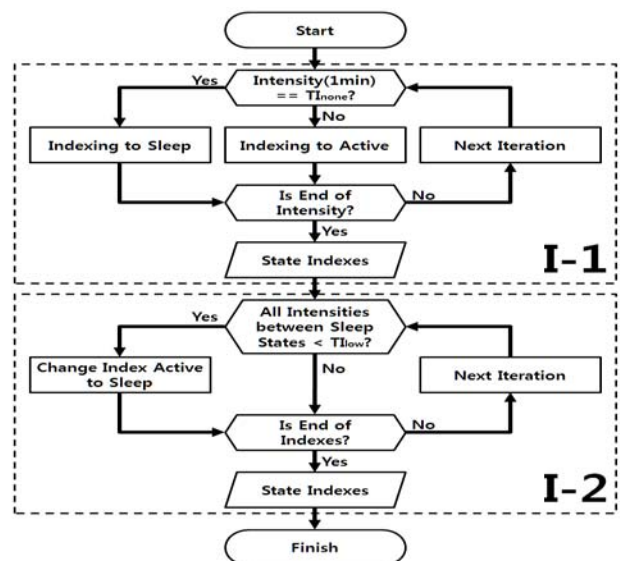
활동 강도와 대조군으로 수집된 수면 시간 데이터를 이용하여 그림2와 같이 수면과 활동 상태에서 활동 강도

값의 분포를 확인하였다. 수면 상태에서는 움직임이 없는 시간의 빈도가 77.42%이며 활동 상태에서는 6.17%로 차이가 큰 것을 알 수 있었다. 즉, 일상생활 중 1분 동안 움직임이 아예 없이 활동 강도가 0으로 측정되는 경우는 매우 적다. 이와 대조적으로 수면 중에는 움직이지 않는 빈도가 높다. 물론 수면 중에 작은 움직임도 작은 크기의 활동 강도 값을 나타내지만 활동 중의 강도와는 뚜렷이 구분된다.



(그림 3) 활동 강도 값을 이용한 수면 상태 분류

이에 본 연구에서는 두 단계로 활동 강도에 따라 수면 상태를 분류하였다. 먼저 움직임이 없이 활동 강도가 0이며 2분 이상인 시간을 먼저 수면 시간으로 분류하고, 수면으로 분류된 시간들 사이의 활동 강도를 기준으로 수면으로 2차 분류한다. 2차 분류 시 수면 사이에 모든 활동 강도 값이 50 이하일 경우 연속적인 활동 강도 값을 가지는 경우라도 수면으로 분류한다. 그림3은 이와 같은 방법으로 활동 강도 값에서 수면 시간을 분류한 결과이며 수면 중간에 움직임이 큰 부분은 실제 수면 상태였음에도 불구하고 활동 상태로 분류된다.



(그림 4) 활동 강도 기반 수면 상태 분류 순서도

그림4는 활동 강도 기반 수면 상태 분류 알고리즘의 순서도로 I-1은 활동 강도 TInone(Threshold of Intensity-None, 0)을 기준으로 수면과 활동 상태를 분류하는 과정이며 I-2는 수면 상태 사이의 활동 상태에서 모든 활동 강도 값이 Tlow(Threshold of Intensity-Low, 50) 이하인 경우 수면으로 다시 분류하는 과정을 나타낸다.

4. 수면 지속 시간 기반 수면 상태 보정

수면 상태 중에 손목에 움직임이 낮 시간에 낮은 강도의 활동과 비슷한 경우 활동 상태로 분류될 수 있다. 실제로 수면 중 아주 잠시 동안 각성한 후에 시계를 확인하거나 날씨를 확인하는 경우가 존재할 수 있으며 이 때 활동 강도는 매우 낮다. 즉, 손을 움직이거나 잠자리에서 일어나지 않아도 일시적으로 각성할 수 있다. 하지만 이러한 상황을 완전한 수면의 종료나 각성으로 간주하기에는 모호함이 있다. 또한 이러한 일시적인 각성은 수면을 지속하는데 큰 영향을 미치지 않으며 이러한 상황으로 인해 완전하게 각성할 경우 사용자의 움직임은 뒤척임이 많아져 자연스럽게 각성 상태와 비슷한 활동 강도가 측정된다.

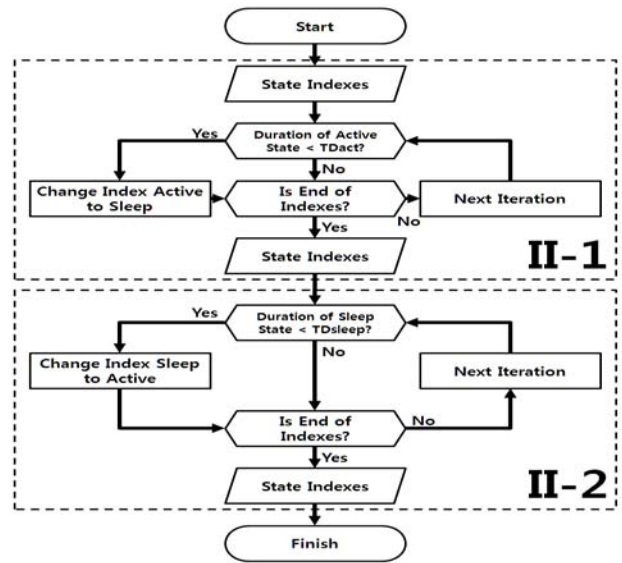
하지만 그림3과 같이 연속적인 수면 중 단순히 뒤척임이 많아 활동 상태로 분류되는 부분은 오류를 야기할 수 있으며 이는 수면의 연속성을 분석하는데 문제를 발생시킨다. 예를 들어 오후 11시에 입면하여 오전 2시 경에 약 5분 동안 각성하고 이를 인지하고 다시 잠들어 오전 6시에 기상할 경우 사용자가 인지하는 수면의 양상은 각성을 기준으로 2번 수면을 취했다거나 3시간 수면 후 각성한 다음 4시간의 낮잠을 잤다고 하는 것 보다 오후 11시에서 오전 6시까지 한 번의 수면을 취했다는 것이 더 적절할 것이다.

따라서 본 연구에서는 수면 중 일시적으로 활동 강도 값이 증가되어 수면 상태를 불연속하게 만드는 요소들을 지속 시간의 기준으로 보정하는 방법을 사용하였다. 이 보정 과정도 크게 두 단계로 구성된다.

첫 번째는 수면 상태와 그 다음 수면 상태 사이의 간격이 15분 이하일 경우 이는 완전한 각성이나 사용자가 크게 불편을 느끼지 않는 각성 또는 각성에 준하는 뒤척임으로 간주하고 이를 수면으로 분류하였다. 보정 과정의 전 단계인 분류 과정에서 수면 사이의 활동 강도가 모두 50이하일 경우 수면으로 간주한 다음 이므로 이 보정단계에서 수면 사이의 활동 상태는 50을 초과하는 활동 강도의 값을 갖고 있다.

두 번째는 활동 상태 중에 영화나 텔레비전 시청이나 기타 다양한 이유로 인해 활동 강도의 값이 수면과 비슷한 수준으로 측정될 경우 이를 수면이 아닌 활동으로 분류하는 방법이다. 본 연구에서는 30분을 기준으로 활동 상태 사이에 30분 이하의 수면 상태가 검출 될 경우 이는 수면이 아니라 낮은 강도의 활동으로 간주하여 이를 활동 상태로 보정한다. 실제로 책상 업무나 회의, 강의 수강 등 정적인 활동도 신체에는 부하가 적은 낮은 강도의 활동이지만 손목의 움직임을 기준으로 활동 강도가 측정 되었을 때는

아예 움직임이 없는 시간은 매우 짧으며 그림3에서 보이는 바와 같이 거의 1분을 넘지 않는다.



(그림 5) 지속 시간 기반 수면 상태 보정 순서도

그림5는 지속 시간 기반 수면 상태 보정 알고리즘의 순서도로 II-1은 활동 지속 시간 TDact(Threshold of Duration-Active, 15분)를 기준으로 수면 중 일시적인 활동 상태를 수면으로 보정하는 과정이며 II-2는 수면 지속 시간 TDsleep(Threshold of Duration-Sleep, 30분)을 기준으로 활동 상태에서 일시적으로 수면 상태로 검출되는 상황에서 이를 활동 상태로 보정하는 과정을 나타낸다.

5. 결과 및 결론

본 연구에서 제안하는 상용 손목 착용형 활동 측정기를 이용한 수면 상태 검출 알고리즘을 검증하기 위해 3명의 실험대상으로부터 각 2개의 활동 측정기를 장착하고 0시부터 24시간까지 연속적인 활동 강도 값을 수집하게 하였다. 대조군으로 활용된 데이터는 제조사에서 제공하는 공식 응용프로그램의 수면 데이터 조회 기능을 통해 수집하였다.

(표 1) 입면/각성 시각에 대한 대조군과 실험군 비교표

(단위: 분)	입면		각성	
	대조군	실험군	대조군	실험군
#				
1	318	316	824	812
2	29	29	493	486
3	188	190	535	530

실험 대상 3명으로부터 수집된 활동 강도 값을 이용하여 본 연구에서 제안한 수면 검출 알고리즘을 적용한 결과와 대조군 수면 시각 결과를 비교한 결과는 표1과 같다.

전체 수면 시간과 활동 시간에 대한 정확도 비교는 분 단위로 산출하였으며 그 결과는 표2에 이원분할표(Confusion Matrix)로 나타내었다.

표1의 숫자는 입면과 각성 시각을 하루 중 분 단위로 표기하였다. 즉 대조군에서 실험대상1의 입면 시각은 318 분이며 5시 18분을 뜻한다. 표1에서 실험군은 본 연구에서 제안한 알고리즘의 수면 검출 결과 값을 의미한다. 실험 결과 입면 시각은 대조군에 비하여 세 실험대상이 각각 2 분, 0분, 2분 앞당겨져 검출되었으며 각성 시각은 각각 12 분, 7분, 5분 앞당겨져 검출되었다. 입면 시각은 평균 1분 20초, 각성 시각은 평균 8분의 오차 시간 간격이 나타나는 것을 확인하였다.

(표 2) 실제 수면 시간과 검출된 수면 시간 및 정확도

(단위: 분)		실험군		
		수면	활동	
대조군	수면	1294 (TP)	26 (FN)	98.03% (TPR)
	활동	2 (FP)	2998 (TN)	99.93% (TNR)
		99.85% (PPV)	99.14% (NPV)	99.35% (ACC)

TP: True Positive, FN: False Negative,
 FP: False Positive, TN: True Negative,
 TPR: TP Rate[TP/(TP+FN)],
 TNR: TN Rate[TN/(FP+TN)],
 PPV: Positive Predictive Value[TP/(TP+FP)],
 NPV: Negative Predictive Value[TN/(FN+TN)],
 ACC: Accuracy[(TP+TN)/(TP+FN+FP+TN)]

표2에서 분 단위로 제안한 알고리즘을 평가한 결과 평균 정확도 99.35%의 검출 성능을 확인할 수 있었다. TPR은 98.03%, TNR은 99.93%, PPV는 99.85%, NPV는 99.14%로 산출되었다. 전체 활동 강도 값의 개수는 4320개(분)이며 이중 28개(분)의 오차가 발생하였다.

수면 측정에서 어려운 부분은 수면 중 움직임이나 일시적인 각성에 의해 낮 시간의 각성상태에 준하는 활동 강도가 검출될 가능성이 있으며 이와 반대로 낮 시간에 텔레비전이나 영화 시청 등 수면상태에 준하는 활동 강도가 검출될 수도 있다. 하지만 수면 및 활동의 지속 시간을 함께 고려함으로써 실제 활동인지 수면인지를 보정하여 정확도를 높일 수 있었으며, 절대적인 시각에 의존하지 않으므로 교대근무자나 지연성 또는 진진성 일주기 수면 리듬 장애와 같은 수면 양상을 파악할 수 있다.

본 연구와 같이 상용화된 웨어러블 디바이스를 기반으로 사용자의 행동을 인지하고 이를 정량적으로 분석하고자 하는 연구는 이미 구축되어 있는 하드웨어를 재활용하여 웰니스(Wellness) 서비스 구축에 대한 비용을 절약할 수

있으며, 서비스 사용자에게 따라 개인화된 서비스 모델의 발굴도 가능할 것으로 전망된다. 또한, 같은 웨어러블 디바이스를 이용하여 노인 생활, 어린이 발육, 대사성 질환자, 전문 운동선수, 수면 장애 환자 등 특수 계층을 위한 기술 개발의 수요도 증대될 것으로 예상된다.

이렇듯 웨어러블 디바이스는 다양한 사용자의 일상생활 전주기적으로(24/7) 추적 가능하게 하며 수면, 운동과 같은 생활습관에서 비롯되는 다양한 생활양식을 분석하고 이를 유지하거나 보다 건강한 생활을 위해 개선하기 위한 기반을 제공하고 있다.

따라서, 추후 본 연구에서 제안한 알고리즘이 검출한 수면 상태를 기반으로 수면 장애를 자동으로 진단하고, 활동 상태 분석 결과를 토대로 개인화된 수면과 활동의 관계 분석에 대한 연구를 진행할 계획이다.

Acknowledgement

본 연구는 연구성과실용화진흥원의 "모바일 IoT 디바이스를 이용한 활동/수면/식사 자동 행위인식과 전주기 활동패턴 모델링 기술 개발" 과제의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

[1] <http://www.samsung.com/sec/consumer/mobile-tablet/gear/>
 [2] <http://www.mi.com/en/miband2/>
 [3] <https://www.fitbit.com/kr/flex2>
 [4] 이상호, 강원석, 송기봉. "웨어러블 디바이스 실증사례를 통한 발전 방향에 대한 연구.", 한국통신학회 2016년도 동계종합학술발표회, pp.649-650, 2016.01
 [5] 박동진, 최정화, 김도진. "헬스 앱의 효능감과 만족도, 지속적 사용의도가 웨어러블 기기의 수용에 미치는 효과: 융복합적 관점." 디지털융복합연구 13.7, pp.137-145, 2015.07
 [6] Zhu, Zack, et al. "Naturalistic Recognition of Activities and Mood Using Wearable Electronics.", IEEE Transaction on Affective Computing 7.3, pp.272-285, 2016.09
 [7] <http://allmydroids.blogspot.kr/2014/12/xiaomi-mi-band-ble-protocol-reverse.html>
 [8] <https://github.com/Freeyourgadget/Gadgetbridge>